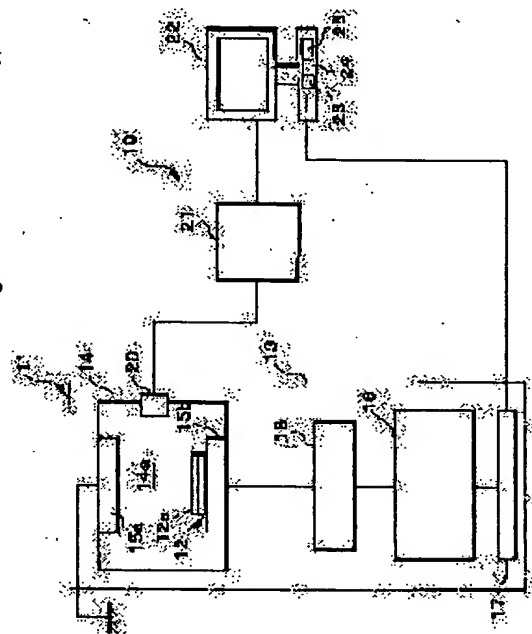


(11)Publication number : 2000-114130
(43)Date of publication of application : 21.04.2000

(72)Inventor: HAYASHI SHUNJI



Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-114130

(P2000-114130A)

(43) 公開日 平成12年4月21日 (2000.4.21)

(51) Int.Cl.

H 0 1 L 21/02

識別記号

F I

H 0 1 L 21/02

テーマコード* (参考)

Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-277043
 (22) 出願日 平成10年9月30日 (1998.9.30)

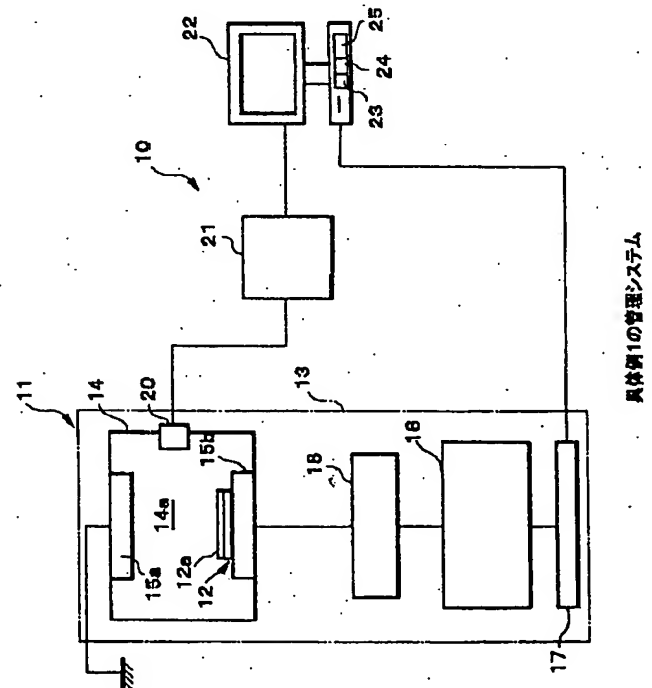
(71) 出願人 390008855
 宮崎沖電気株式会社
 宮崎県宮崎郡清武町大字木原727番地
 (71) 出願人 000000295
 沖電気工業株式会社
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号
 (72) 発明者 林 俊司
 宮崎県宮崎郡清武町大字木原727番地 宮
 崎沖電気株式会社内
 (74) 代理人 100082050
 弁理士 佐藤 幸男 (外1名)

(54) 【発明の名称】 半導体製造装置のための管理方法および管理システム

(57) 【要約】

【課題】 半導体製造装置の異常動作を正確に判定することのできる管理方法を提供すること。

【解決手段】 半導体製造装置 11 の正常動作状態下で少なくとも 1 つのパラメータについて複数のデータをサンプリングし、サンプリングされたデータ群に基づいてマハラノビス空間 A を作成し、該マハラノビス空間に基づいて、半導体製造装置 11 の動作状態で得られる前記パラメータについての測定値からマハラノビス距離 D² を算出し、当該マハラノビス距離の値が所定の値を超えたとき、半導体製造装置 11 が異常動作を生じたと判定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体製造装置の動作を管理する方法であって、前記半導体製造装置の正常動作状態で少なくとも1つのパラメータについて複数のデータをサンプリングし、サンプリングされたデータ群に基づいてマハラノビス空間を作成し、該マハラノビス空間に基づいて、前記半導体製造装置の動作状態で得られる前記パラメータについての測定値群からマハラノビス距離を算出し、当該マハラノビス距離の値が所定の値を超えたとき、前記半導体製造装置が異常動作を生じたと判定することを含む、半導体製造装置のための管理方法。

【請求項2】 さらに、予め、前記パラメータ以外の複数のパラメータであってそれぞれが異常状況を示す前記複数のパラメータのそれぞれについてそのパラメータ以外の他のパラメータが正常状況を示す異常状態下のマハラノビス空間を予め作成し、前記マハラノビス距離の値から異常動作を生じたと判定されたとき、前記異常状態下の前記マハラノビス空間に基づいて、前記測定値群からそれぞれのマハラノビス空間に対応するマハラノビス距離を算出し、それぞれが異常状況を示す前記複数のパラメータのうち、前記マハラノビス距離が最も1に近い値を与えるマハラノビス空間を導出した異常状況を示す前記パラメータに異常があった旨を推定することを含む請求項1記載の管理方法。

【請求項3】 前記パラメータは、相互に異なる複数のパラメータであり、所定の時間毎における前記複数のパラメータのデータ群に基づいて前記所定の時間毎のマハラノビス空間が作成され、各時間毎の前記マハラノビス空間に基づいて、前記半導体製造装置の動作状態で得られる前記複数のパラメータについての各測定値群から各時間毎のマハラノビス距離が算出される請求項1記載の管理方法。

【請求項4】 半導体製造装置の正常動作状態を示すパラメータから得られたマハラノビス空間についてのデータを格納する記憶部と、動作中の前記半導体製造装置装置から前記パラメータのデータ値を得るための検出機構と、前記記憶部に格納された前記マハラノビス空間に基づいて、前記検出機構により得られた前記パラメータ値群からマハラノビス距離を算出する演算回路と、該演算回路により算出された前記マハラノビス距離が所定値を超えたか否かを判定する回路とを含む、半導体製造装置のための管理システム。

【請求項5】 前記半導体製造装置はプラズマの発光を伴うプラズマエッチング装置であり、前記検出機構は、前記エッチング装置のプラズマ発光の所定の波長についての強度を測定するためのプラズマ発光強度検出器を備える請求項4記載の管理システム。

【請求項6】 前記半導体製造装置はプラズマ発光のための高周波発信器を備えるプラズマエッチング装置であり、前記検出機構は、前記高周波発信器の高周波出力に

についての電流値、電圧値および位相をそれぞれ求めるための電圧検出器および電流検出器を備える請求項4記載の管理システム。

【請求項7】 前記検出機構は、さらに、前記電流検出器および前記電圧検出器により検出された電流値および電圧値から、前記高周波出力の基本波およびその高調波についての電流値、電圧値および位相を算出するためのデータ変換器を備える請求項6記載の管理システム。

【請求項8】 前記半導体製造装置はプラズマの発光を伴うプラズマエッチング装置であり、前記検出機構は、前記エッチング装置のプラズマ発光の複数の所定の波長についての強度を測定するための発光分析器を備える請求項4記載の管理システム。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体製造装置の管理方法および管理システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体製造装置のような製造装置の管理システムでは、製造装置が正常に動作しているか否かを判定するために、一般的には、製造装置の機能部分における温度あるいは圧力のようなパラメータについてのデータを検出し、そのデータの値が異常値を示すとき、製造装置の動作が停止するインターロック方式が採用されている。このインターロック方式によれば、異常データ値を検出したとき、直ちに製造装置の作動を停止し、これにより不良品の排出を最小限に抑えることができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記したような従来のインターロック方式では、たとえばプラズマエッチング装置のエッチング作業の開始から終了までの各エッチング工程をプラズマ発光強度の変化で管理するとき、このプラズマ発光強度がエッチング工程の開始から終了まで大きく変化することから、このプラズマ発光強度をパラメータとしてその異常動作を検出することはできない。また、インターロック方式では、単一のパラメータについてのデータ値が所定の範囲を超えるか否かを判定するのみであり、データ値相互間の時経列的な変化を捉えることはできないことから、異常動作を正確に把握することは容易ではない。さらに、インターロック方式では、複数のパラメータを組み合わせた場合であっても、個々のパラメータに相関性を与えることができないことから、異常動作の正確な把握に問題があった。

【0004】 そこで、本発明の目的は、半導体製造装置の異常動作を正確に判定することのできる管理方法および管理システムを提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明は、半導体製造装置の動作を管理する方法であって、前記半導体製造装置

の正常動作状態下で少なくとも1つのパラメータについて複数のデータをサンプリングし、サンプリングされたデータ群に基づいてマハラノビス空間を作成し、該マハラノビス空間に基づいて、前記半導体製造装置の動作状態で得られる前記パラメータについての測定値群からマハラノビス距離を算出し、当該マハラノビス距離の値が所定の値を超えたとき、前記半導体製造装置が異常動作を生じたと判定することを特徴とする。

【0006】本発明に係る前記管理方法では、複数のデータからなるデータ群に基づくマハラノビス空間が作成され、このマハラノビス空間に基づいて、前記半導体製造装置の動作状態で得られる前記パラメータについての測定値からマハラノビス距離が算出され、このマハラノビス距離の値に応じて前記半導体製造装置の動作状態の正常動作および異常動作が判定される。

【0007】前記マハラノビス空間は、後述するようなデータの集合体から導き出される相関行列の逆行列で表現されることから、マハラノビス空間を用いることにより、たとえ単一のパラメータが採用されたとしても、マハラノビス空間では、データ群が個々のデータ値として単独に取り扱われることはなく、データ相互間の相関関係が考慮される。

【0008】従って、本発明に係る前記管理方法によれば、データ相互間の相関関係が考慮されない従来のインターロック方式では得られない精度の高さで、正確に前記半導体製造装置の動作状態が正常か否かを判定することができ、これにより従来に比較して高い精度で前記半導体製造装置の動作を管理することができる。

【0009】さらに、予め、前記パラメータ以外の複数のパラメータであってそれぞれが異常状況を示す前記複数のパラメータのそれぞれについてそのパラメータ以外の他のパラメータが正常状況を示す異常状態下のマハラノビス空間を予め作成し、前記マハラノビス距離の値から異常動作を生じたと判定されたとき、異常状況を示す前記マハラノビス空間に基づいて、前記測定値群からそれぞれのマハラノビス空間に対応するマハラノビス距離を算出し、前記複数のパラメータのうち、前記マハラノビス距離が最も1の値に近いマハラノビス空間を与える前記パラメータに異常があった旨を推定することができる。

【0010】各マハラノビス空間に基づいて算出されたマハラノビス距離のうち、測定値を与えた状況下に最も近い状況下のマハラノビス空間を用いて算出したマハラノビス距離が最も1に近くなる。従って、マハラノビス距離を算出するのに用いた複数のマハラノビス空間のうち、最も1の値に近いマハラノビス距離を導き出すのに用いたマハラノビス空間が測定値を与えた状況下に最も近い状況下でのマハラノビス空間であるとみなすことができ、これにより、最も1の値に近いマハラノビス距離を導き出したマハラノビス空間を導出する異常パラメー

タに、異常原因があったと推定することができる。

【0011】前記パラメータを相互に異なる複数のパラメータで構成することができる。これにより、所定の時間毎における複数のパラメータのデータ群に基づいて所定の時間毎のマハラノビス空間を作成することができることから、各時間毎の前記マハラノビス空間に基づいて、前記半導体製造装置の動作状態で得られる前記複数のパラメータについての測定値群から各時間毎のマハラノビス距離を算出することができる。

【0012】また、本発明に係る管理システムは、半導体製造装置の正常動作状態を示すパラメータから得られたマハラノビス空間についてのデータを格納する記憶部と、動作中の前記半導体製造装置から前記パラメータのデータ値を得るための検出機構と、前記記憶部に格納された前記マハラノビス空間に基づいて、前記検出機構により得られた前記パラメータ値からマハラノビス距離を算出する演算回路と、該演算回路により算出された前記マハラノビス距離が所定値を越えたか否かを判定する回路とを含むことを特徴とする。

【0013】本発明によれば、前記演算回路が、前記記憶部に格納された前記マハラノビス空間に基づいて、前記検出機構により得られた前記パラメータ値群からマハラノビス距離を算出し、前記判定回路が、算出されたマハラノビス距離が所定値を越えたか否かを判定することから、迅速かつ効果的に本願方法を実施することができる。

【0014】本願発明に係る管理システムをプラズマエッチング装置の管理に適用することができる。プラズマエッチング装置のプラズマ発光強度を検出する検出機構として、前記エッチング装置のプラズマ発光の所定の波長についての強度を測定するためのプラズマ発光強度検出器を備える検出機構を用いることができる。このプラズマ発光強度検出器により検出されるプラズマ発光強度についてのデータを用いて、前記したマハラノビス空間およびマハラノビス距離を求めることができ、このマハラノビス距離を用いた判定により、プラズマエッチング装置が正常に動作したか否かを高精度で判定することができる。

【0015】また、前記検出機構として、プラズマエッチング装置に設けられる高周波発信器の高周波出力についての電流値、電圧値および位相をそれぞれ求めるための電圧検出器および電流検出器を備える検出機構を用い、これら電圧値、電流値および位相についてのデータから、前記したマハラノビス空間およびマハラノビス距離を求めることができ、このマハラノビス距離を用いた判定により、プラズマエッチング装置が正常に動作したか否かを高精度で判定することができる。

【0016】前記検出機構に、さらに、前記電流検出器および前記電圧検出器により検出された電流値および電圧値から、前記高周波出力の基本波およびその高調波に

ついで電流値、電圧値および位相を算出するためのデータ変換器を設けることができる。これにより、所定の時間毎における、基本波およびその高調波についての電流値、電圧値および位相からなる複数のパラメータのデータ群に基づいて所定の時間毎のマハラノビス空間を作成することができることから、各時間毎のマハラノビス空間に基づいて、前記エッチング装置の動作状態で得られる前記複数のパラメータについての測定値群から各時間毎のマハラノビス距離を算出することができる。従って、時系列的なマハラノビス距離の判定により、前記エッチング装置の動作状態をデータ値相互間の時系列的な変化に代えて、パラメータ相互間の相関関係で、前記エッチング装置の作動状態を時系列的に好適に管理することができる。

【0017】前記エッチング装置の前記検出機構として、プラズマ発光の複数の所定の波長についての強度を測定するための発光分析器を備える検出機構を用いることができる。前記発光分析器は、所定の複数の波長についての強度の測定を可能とすることから、プラズマ発光に関して複数の波長のそれぞれの強度を各パラメータとして取り扱うことができ、これにより、プラズマ発光の波長毎の強度の相互間の相関関係で、前記エッチング装置の作動状態を時系列的に好適に管理することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示の実施の形態について詳細に説明する。

〈具体例1〉図1は、本発明に係る管理システムを半導体製造装置の1つであるプラズマエッチング装置に適用した例を示す。本発明に係る管理システム10が適用されるプラズマエッチング装置11は、従来よく知られているように、例えば、半導体ウエハのような半導体基板12上に積層された絶縁膜のような上層部分12aにコンタクト孔を形成すべく、この上層部分12aにドライエッチング処理を施すために、用いられる。

【0019】プラズマエッチング装置11は、図1に示されているように、ハウジング13と、該ハウジング内に収容されたプラズマ保持用反応槽14と、該反応槽内に規定された反応室14aに相互に間隔をおいて配置される一対の電極15（15aおよび15b）と、プラズマ発生用の高周波発生源たる高周波発生器16と、プラズマエッチング装置11の高周波発生器16を含む各部の動作を制御するための制御部17とを備える。

【0020】一方の電極15aは、接地されており、他方の電極15bは、インピーダンス調整のためのマッチングボックス18を経て、高周波発生器16からの高周波出力を受ける。高周波発生器16からの出力を受ける電極15b上には、被加工面たる上層部分12aを上方に向けて、半導体基板12が配置される。半導体基板12の前記被加工面12aには、従来よく知られているよ

うに、必要に応じて選択エッチングのための選択マスクが施される。

【0021】反応槽14内の反応室14aには、図示しないが従来よく知られたガス導入系を経て、例えば CF_4 のような反応ガスが導入され、反応室14a内の雰囲気ガスが所定のガス圧に維持されるように、順次、排気系を経て排出される。

【0022】プラズマエッチング装置11では、従来よく知られているように、制御部17の動作により、高周波発生器16から他方の電極15bへ高周波電力が出力されると、両電極15aおよび15b間でのグロー放電により、ラジカルと呼ばれる活性な分子および原子を含むプラズマが形成され、このラジカルの化学反応により、半導体基板12の上層部分12aがエッチングを受ける。

【0023】このとき、プラズマの発光は、エッチングの進行に関連して変化する。すなわち、半導体基板12と材質の異なる絶縁層である上層部分12aのエッチングの進行に伴い増大するある特定の波長の光の強度は、エッチング作用が上層部分12aの下層たる半導体基板12に及ぶと、減少する。この光強度の変化が図2のグラフに示されている。図2の横軸は、エッチング開始からの時間（秒）を表し、その縦軸はエッチング工程における反応室14a内でのプラズマ発光による光強度を表す。

【0024】図2のグラフの特性線19は、プラズマ発光によるある特定の波長の光強度の変化を示す。この特性線19で示されているように、時間0で開始された上層部分12aのエッチングによって生じるプラズマ発光の強度は、時間 X_1 、 X_2 および X_3 の経過に伴う上層部分12aのエッチングの促進に伴い、 Y'_1 、 Y'_2 および Y'_3 と、増大する。

【0025】時間 X_3 でプラズマ発光強度がほぼ飽和に達する（ Y'_3 ）と、上層部分12aの膜厚の減少に伴ってその発光強度は減少し、時間 X_n で、その発光強度が所定値 Y'_n を下回る。この時点で、エッチングが半導体基板12に達したと判断することができ、このことから、上層部分12aを貫通するコンタクトホールのための所定のエッチングが終了したことを知ることができる。

【0026】このようなプラズマ発光におけるある波長の光を観察してエッチング工程の終了点を知る管理システムは、EPD（End Point Detect）システムとして知られている。本発明に係る管理システム10は、このプラズマ発光における所定の波長の光の観察により、プラズマエッチング装置11が正常に動作したか否かを判定することを可能とする。

【0027】再び図1を参照するに、本発明に係る管理システム10は、反応室14a内のプラズマ発光における所定の波長の光強度を検出すべく反応室14aに設け

られる光センサ20と、該光センサにより検出された信号をデータ処理するためのモニタ21を経て受信する情報処理装置22とを備える。

【0028】プラズマ発光は、反応室14a内の前記活性ガス、エッチングを受ける上層部分12aあるいはその他の運転条件によって、その波長領域は異なるが、所定の波長領域にピーク値を示す。光検出機構の光強度検出器として設けられた光センサ20は、この所定の波長領域の光を受光するためのフィルタまたはモノクロメータを備え、この所定の波長領域の光強度を電気信号に変換してモニタ21に送る。

【0029】モニタ21は、プラズマ発光強度検出器たる光センサ20からの電気信号を受けて、図2に沿って説明したとおり、発光強度の観察によりエッチング終了時点を検出する。また、モニタ21は、前記光センサ20からの電気信号を情報処理装置22に送出する。

【0030】情報処理装置22は、図示の例では、コンピュータからなる。コンピュータ22は、後述するマハラノビス空間についてのデータを格納するための記憶部23と、光強度検出器たる前記光センサ20から得られた光強度についての信号すなわちパラメータ信号で表されるデータを演算処理するための演算回路24と、比較回路25とを備える。演算回路24および比較回路25は、コンピュータ22をプログラムで制御することにより、後述する所定の演算機能を達成すべくソフト的に実現することが望ましい。

【0031】本発明に係る管理システム10を稼動するに先立ち、プラズマエッチング装置11の正常動作状態下でのマハラノビス空間が作成される。このマハラノビス空間を作成するために、ある1つの半導体基板12の上層部分12aにエッチング孔を形成する過程でのプラズマ発光における所定の波長の強度が光センサ20により検出される。この光センサ20での強度検出により、図2に示した時間($X_1, X_2, X_3 \dots X_n$)でのそれぞれの発光強度($Y'_1, Y'_2, Y'_3 \dots Y'_n$)についてのデータがサンプリングを受ける。

【0032】正常動作状態下で、さらに他の半導体基板12についてのエッチング孔形成過程での前記したと同様なデータについてのサンプリングが行われる。その結果、正常動作状態下での単一のパラメータすなわち、この例では、プラズマ発光における所定の波長強度について、複数回のエッチング処理工程で得られるデータ群が形成される。

【0033】図3(a)は、このサンプリングにより得られた測定データ群を示す。ある半導体基板12のエッチング処理(1)について各発光強度($Y'_1, Y'_2, Y'_3 \dots Y'_n$)の測定データが $y'_{1 \cdot 1} \dots y'_{n \cdot 1}$ で示されており、以下、他の半導体基板12のエッチング処理(2……m)についての同様な発光強度の測定データが $y'_{1 \cdot 2} \dots y'_{n \cdot m}$ で示さ

れている。

【0034】これら測定データ($y'_{1 \cdot 1} \dots y'_{n \cdot m}$)は、次式

$$Y_{n \cdot m} = (Y'_{n \cdot m} - Ave_n) / \sigma_n \dots (1)$$

を用いて基準化される。ここで、 Ave_n は、各時間毎($X_1, X_2, X_3 \dots X_n$)についての各データの平均値である。すなわち、 Ave_1 は、 $y'_{1 \cdot 1} \dots y'_{1 \cdot m}$ の平均値を表し、以下同様に、 Ave_n は、 $y'_{n \cdot 1} \dots y'_{n \cdot m}$ を表す。また、 σ_n は、各時間毎におけるそれぞれのデータの標準偏差である。

【0035】図3(b)は、図3(a)に示された測定データ群を式(1)を用いて基準化して得られた基準化データ群である。この基準化データ群を得るための式(1)の演算をコンピュータ22の演算回路24で行うことができる。

【0036】図3(b)に示された基準化データ群に基づき図4(a)に示す相関行列Rが求められる。相関行列Rの行列要素 $r_{i \cdot j}$ および $r_{j \cdot i}$ ($i, j = 1 \sim n$)は、図3(b)の式(2)で示されるとおり、基準化データ群の各データ $y_{i \cdot j}$ および $y_{j \cdot i}$ の関数で示される。

【0037】前記基準化データ群から相関行列Rが求められると、この相関行列Rの逆行列Aすなわち、プラズマエッチング装置11が正常な動作状態下でのマハラノビス空間A(基礎空間A)が求められる。このマハラノビス空間を得るための演算処理は、すべて演算回路24で行うことができる。また、マハラノビス空間Aたる逆行列Aの各行列要素 $a_{i \cdot j}$ ($i, j = 1 \sim n$)は、コンピュータ22の記憶部23に格納される。

【0038】前記したマハラノビス空間Aを得た後、プラズマエッチング装置11が半導体基板12のエッチング処理のために、通常の運転状態におかれると、前記したと同様に、光センサ20を介して、プラズマエッチング装置11の反応室14a内でのプラズマ発光における所定の波長強度のデータがサンプリングされる。

【0039】半導体基板12のエッチング処理の終了によって、一連の測定データ $y'_1 \dots y'_n$ が得られると、この測定データは、 Ave_n および σ_n を用いる式(1)により、前記したと同様な基準化処理を受け、図3(b)に示したと同様な一連の基準化データ $y_1 \dots y_n$ が求められる。

【0040】一連の基準化データが求められると、演算回路24での図4(c)に示された式(3)の演算の実行により、マハラノビス距離 D^2 が求められる。式

(3)に示された y_i, y_j は、通常の運転状況下で得られた基準化データ $y_1 \dots y_n$ からの値であり、他方、 $a_{i \cdot j}$ は、予め求めたマハラノビス空間Aの行列要素である。

【0041】このようにして演算回路24で求められたマハラノビス距離 D^2 は、この距離を求める根拠となっ

た一連のデータ $y_1 \cdots y_n$ と、マハラノビス空間 A を求める根拠となった基礎データ群 $y_1 \cdot 1 \cdots y_n \cdot m$ との類似度が高い程、1に近い値を示す。すなわち、マハラノビス空間 A がプラズマエッチング装置 11 の正常運転状況下でのデータ群により、形成されている限り、前記マハラノビス距離 D^2 が 1 に近い程、正常運転に近く、これとは逆に、マハラノビス距離 D^2 が 1 から離れる程、正常運転からずれることを意味する。

【0042】従って、マハラノビス距離 D^2 がある閾値を超えたか否かを比較回路 25 で判定することにより、一連のデータ $y_1 \cdots y_n$ を与えたエッチング作業が正常に終了したか否かを判定することができる。

【0043】比較回路 25 により、異常と判定されたとき、警報手段として、図示しない発音器、表示灯等を作動させることができる。また、コンピュータ 22 は、プラズマエッチング装置 11 の制御部 17 にその作動の停止信号を送出することができる。

【0044】前記した閾値は、管理の厳密度合いに応じて、例えば、2 ないし 4 の間で、適宜選択することができる。

【0045】本発明に係る前記管理システム 10 によれば、プラズマエッチング装置のプラズマ発光を観察する EPD (End Point Detect) システムの光センサ 20 からの情報を利用して、エッチング工程が正常に終了したか否かを各エッチング工程毎に判定することができ、これにより、エッチング工程を好適に管理することができる。

【0046】前記したところでは、エッチング工程の管理の例について説明したが、本願発明に係る前記管理方法は、プラズマエッチング装置 11 の定期点検後あるいはオーバホール後等の立ち上げ運転時の異常検出に適用することができる。立ち上げ時における正常動作状況下のデータ群から前記したと同様なマハラノビス空間 A を求めるために、半導体基板 12 に変わる試料として、例えば未処理のシリコン半導体基板をダミー試料として用いることができる。

【0047】このダミー試料を用いて前記したと同様なプラズマ発光についての図 3 (a) に示したと同様な測定データ群を求め、この測定データ群から図 3 (b) に示したと同様な基準化データ群を求め、この基準化データ群から前記したと同様な正常動作状況下でのマハラノビス空間 A を求める。その後の立ち上げ運転では、そのときに得られる前記したと同様な測定データの基準化により求められた基準化データから、前記マハラノビス空間 A に基づき、前記したと同様なマハラノビス距離 D^2 が求められる。従って、このマハラノビス距離 D^2 の値によって、立ち上げ運転が正常か否かを判定することができる。

【0048】このとき、予め多数のパラメータのうち、例えば反応室 14 a 内の圧力についてのパラメータ、そ

の温度についてのパラメータあるいは高周波出力についてのパラメータのような 1 つのパラメータのみを通常と異なる値に設定し、他のパラメータを正常な通常値に設定した状態で、それぞれある 1 つのパラメータのみを通常と異なる状況下で、それぞれのマハラノビス空間 (B、C...) を作成しておくことができる。

【0049】プラズマエッチング装置 11 が異常運転であると判定されたとき、異常であると判定された動作状況下で得られた基準化データ群を用い、前記マハラノビス空間 A に代えて、それぞれが異なる 1 つのあるパラメータのみを通常と異なる状況下で得られたマハラノビス空間 (B、C...) に基づいて、順次それらのマハラノビス距離 D^2 を求める。これらのマハラノビス距離のうち、最も 1 に近いマハラノビス距離を与えるマハラノビス空間 (B または C...) が、異常であると判定された動作状況下に最も類似していると考えられる。

【0050】従って、最も 1 に近いマハラノビス距離 D^2 を与える前記マハラノビス空間 (B または C...) を導出するのに用いたデータ群を得たときの異常パラメータに、異常が生じたであろうと、推定することができる。すなわち、例えば高周波出力を通常と異なる値にして求められたマハラノビス空間に基づいて算出されたマハラノビス距離 D^2 が最も 1 に近いとき、基準化データ群を与えた異常運転は、高周波出力に異常の原因があったと推定することができる。このことから、異常パラメータ下でのマハラノビス空間を用い、前記したマハラノビス距離 D^2 の比較により、異常原因の推定が可能となる。

【0051】〈具体例 2〉プラズマエッチング装置 11 では、高周波発生器 16 から電極 15 b に供給される高周波電力は、反応室 14 a のインピーダンス変化に極めて敏感に反応することから、このインピーダンス変化に伴う高周波電力の変化を把握することにより、プラズマエッチング装置 11 に異常が生じたか否かを知ることができる。

【0052】図 5 に示す管理システム 10 では、プラズマエッチング装置 11 の動作管理に、この高周波電力の電圧、電流および位相を含む複数のパラメータが採用されており、これらのデータを得るために、マッチングボックス 18 と電極 15 b との間には、電圧検出器 20 a および電流検出器 20 b を備える検出機構 20 が挿入されている。電圧検出器 20 a からの電気信号 (V) および電流検出器 20 b からの電気信号 (I) は、検出機構 20 のデータ変換器 20 c に入力される。

【0053】データ変換器 20 c は、両電気信号 (V、I) を受けることにより、図 6 に示されているように、高周波発生器 16 からの例えば 13.56 MHz の高周波出力についての各時点 (Time 1, Time 2, ... Time n) ごとの基本波成分における電流値 I_0 、および 1 次、2 次、3 次および 4 次の各高調波成分におけるそれ

ぞれの電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 と、基本波成分における電圧値 V_0 、および1次、2次、3次および4次の高調波成分におけるそれぞれの電圧値 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 と、位相 θ とをコンピュータ22に出力する。

【0054】図6は、正常動作状況下でのマハラノビス空間Aを求めるためのデータ群を示す。図6の例では、測定データが既に前記したと同様な基準化処理を受けた後の基準化データ群として示されている。また、図6の例では、データの基準化のために、各時間毎における各電流値 I_0 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、各電圧値 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 および位相 θ についてのそれぞれの標準偏差 σ が用いられ、各データ平均値 Ave を求めるために、2組からなるデータ群が用いられた。

【0055】図6に示したように、各時間毎に相互に異なる複数のパラメータのデータを複数の試料についてサンプリングし、それらの基準化を図ることにより、各時間毎で図3(b)に示した基準化データ群に対応する基準化データ群を得ることができる。これら各測定時間毎の基準化データ群を得ることにより、図4に示したような相関行列Rおよびこの相関行列Rから導き出されるマハラノビス空間Aを、データ測定時間毎に作成することができる。

【0056】従って、予めデータ測定時間毎のマハラノビス空間Aを求めておくことにより、この各マハラノビス空間Aに基づいて、エッチング処理中に得られる前記したと同様な測定データ群（電流値 I_0 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、電圧値 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 および位相 θ ）から、測定時間毎に、逐次、前記したと同様なマハラノビス距離 D^2 を算出するための式(3)で示した演算処理を各時間毎に行うことができ、これにより、各測定時間毎のマハラノビス距離 D^2 を求めることが可能となる。

【0057】図7～図9および図11は、図5に示した具体例2における各測定データ（ I_0 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 および θ ）の値の変化およびマハラノビス距離 D^2 の変化の一例を示すグラフである。この事例は、エッチング処理の開始から約90～100秒後に、プラズマエッチング装置11の動作に異常が生じた事例である。

【0058】図7のグラフの横軸は、エッチング開始からエッチング終了までの時間（秒）を示し、その縦軸は電圧値（V）を示す。図7に示された特性線26および27は、高周波発生器16から出力される高周波出力の基本波成分の電圧値 V_0 およびその1次高調波成分の電圧値 V_1 の変化をそれぞれ示す。両特性線26および27によれば、ノイズ分であると考えられる微少な電圧変動が観察されるが、図7のグラフからは、ノイズ分以外に、変動を示す傾向は見受けられない。

【0059】図8のグラフの横軸は、時間（秒）を示

し、その縦軸は電圧値（V）または電流値（A）を示す。図8に示された特性線28、29および30は、2次、3次および4次の高調波成分の電圧値 V_2 、 V_3 および V_4 の変化をそれぞれ示し、また、特性線31は、前記高周波出力の基本波の電流値 I_0 の変化を示す。

【0060】各特性線28～31によれば、特性線26および27におけると同様に、ノイズ成分と考えられる電圧変動あるいは電流変動が観察されるものの、これらのノイズによりそれ以外の変動を見つけ出すことはできない。

【0061】図9のグラフの横軸は、時間（秒）を示し、その縦軸は電流値（A）を示す。図9のグラフに示された特性線32～35は、前記高周波出力の1次、2次、3次および4次の高調波成分における電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 および I_4 の変化をそれぞれ示す。特性線32にエッチング処理開始から100秒の時点の前後で僅かに全体的な変化が見られるが、明確ではなく、またこの特性線32と同様に、ノイズ成分を含む各特性線33～35からは、ノイズ以外の変動を見つけ出すことはできない。

【0062】他方、横軸が時間（秒）を示し、縦軸が位相角（度）を示す図10のグラフでは、その位相変化を示す特性線36の変化から明らかなように、この特性線36にノイズ成分が含まれていても、約100秒の時点の前後で、位相角が変化していることを明確に判定することができる。

【0063】しかしながら、図10のグラフから明らかなように、このときの位相の変化量は、約-50度から約-45度への僅かに5度の位相変化に過ぎないことから、大きなS/N比を得ることはできない。

【0064】これらに対し、図11に示すマハラノビス距離 D^2 の変化を示すグラフによれば、このマハラノビス距離 D^2 の極めて大きな変化が明確に観察される。図11のグラフの横軸は、時間（秒）を示し、その縦軸がマハラノビス距離 D^2 を示す。特性線37は、エッチング処理の開始から終了に至るまでの前記した各測定時間毎に求められた各測定データ（ I_0 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 および θ ）から、それぞれの測定時間毎のマハラノビス空間Aに基づいて算出されたマハラノビス距離 D^2 を、各測定時間毎にプロットして得られた。

【0065】特性線37には、微視的に見れば、前記した各特性線26～36におけると同様なノイズ成分が含まれている。しかしながら、これらのノイズ成分による変化量を越える極めて大きな変化が時間軸の約100秒の時点の前後に見受けられる。

【0066】すなわち、図11のグラフ上では、特性線37は、ほぼ零に近いマハラノビス距離 D^2 の値（実際には1）を示すが、エッチングの開始から約90秒ないし150秒の間に、ほぼ250の値に向けて急激に立ち

上がっている。

【0067】従って、異常値を示すマハラノビス距離 D^2 の閾値を例えば250に設定することにより、通常時の値の約250倍の変化量で、異常時を検出することができ、前記した位相の変化のみによる検出に比較して、極めて高い S/N 比で異常状態を検出することができる。

【0068】前記したマハラノビス距離 D^2 の閾値は、適宜選択することができるが、例えば1あるいは50の値に設定することができ、これらのいずれに値に設定しても、前記した位相のみをパラメータとして異常を検出する例に比較して高い S/N 比でプラズマエッチング装置11の動作の異常を正確に検出することができる。

【0069】具体例2に示した管理システム10によれば、前記したように、データの測定時間毎にマハラノビス距離 D^2 が所定の値を超えたか否かを判定することができ、これにより、ある1つの半導体基板12についてのエッチング作業中に異常が生じると、異常が生じた時点で、直ちに、異常を検出することができる。従って、より迅速に、異常を検出してこれに対処すべく、直ちに警告を発し、あるいはプラズマエッチング装置11の動作を停止させることができる。

【0070】前記した具体例2の例においても、例えば単一のパラメータのみを意図的に異常の値に設定し、その他のパラメータが正常な値を示す条件下でのマハラノビス距離空間をそれぞれ求めておくことにより、これらを前記具体例1に沿って説明した例におけると同様に、異常パラメータの推定に使用することができる。

【0071】〈具体例3〉図12に示す管理システム10では、プラズマエッチング装置11の反応室14aのプラズマによる発光を複数の波長の光を相互に異なるパラメータとし、それぞれの波長についての光強度がデータとしてサンプリングされる。

【0072】反応室14a内のプラズマ発光から相互に異なる複数の所定の波長についてのデータを得るための検出手段20として、反応室14a内のプラズマによる光をプラズマエッチング装置11の外方へ案内する光ファイバ20が設けられている。光ファイバ20により導出されたプラズマ光は発光分析器21に案内される。発光分析器21は、このプラズマ光の所定の波長についての強度ピーク値をその波長についてのデータと共に演算回路24に出力する。

【0073】図13は、前記発光分析器20により得られた、正常動作状況下でのマハラノビス空間 A を求めるためのデータ群を示す。図13の例では、測定データが既に前記したと同様な基準化処理を受けた後の基準化データ群として示されている。

【0074】図13に示すデータ群では、具体例2について説明したと同様に、各測定時間毎に相互に異なる複数のパラメータ（波長 λ_1 、 λ_2 …… λ_{11} ）のデータ

が複数の試料についてサンプリングを受けていることから、各時間毎で図3(b)に示した基準化データ群に対応する基準化データ群を得ることができる。従って、これら各測定時間毎の基準化データ群を得ることにより、図4に示したような相関行列 R およびこの相関行列 R から導き出されるマハラノビス空間 A を、具体例2におけると同様に、データ測定時間毎に作成することができる。

【0075】図14は、従来におけると同様な単一の波長についての発光ピーク値の強度変化を示すグラフであり、その横軸はエッチング開始からの経過時間を示し、またその縦軸は発光強度を示す。図14に示す事例は、エッチング処理の開始からある時間 T 秒で、プラズマエッチング装置11の動作に異常が生じた事例であるが、単なる発光ピーク値強度の変化を示す特性線38によれば、前記時間 T 前後での顕著な変化は見いだせない。

【0076】他方、図15のグラフは、前記した時間 T 秒で異常が生じた事例における時間と、マハラノビス距離 D^2 との関係を表すグラフである。このグラフに示された特性線39は、前記した各波長 λ_1 、 λ_2 …… λ_{11} におけるピーク値のデータをサンプリングし、それらの各時間毎での基準化データ群から導出された各測定時間毎のマハラノビス空間 A を求め、このマハラノビス空間 A に基づいて、前記した時間 T 秒で異常が生じた事例の各測定データから各測定時間毎のマハラノビス距離 D^2 を算出したときのマハラノビス距離 D^2 距離 D の変化を示す。

【0077】特性線39によれば、前記時間 T の前後で、図15のグラフに示された発光強度を示す特性線38では観測できなかった大きな変化がマハラノビス距離 D^2 の変化として、明瞭に示されている。従って、具体例3の管理システム10によれば、発光強度のみの変化では検出し得ないプラズマエッチング装置11の反応室14a内の微小なプラズマ変化をも検出することができ、これにより、プラズマエッチング装置11の動作のより高精度な管理が可能となる。

【0078】前記したところでは、プラズマエッチング装置の動作を管理するためのパラメータとしてプラズマ発光に関する光パラメータあるいは高周波電力に関する電圧、電流および位相のような電気パラメータについて説明した。本願発明は、これに限らず、質量分析器等の検出器を用いることにより、プラズマエッチング装置の反応室のガス圧力、APC等、プラズマエッチング装置の動作状態を表す種々の装置パラメータを用いることができる。また、前記したプラズマエッチング装置の管理に代えて、その他の半導体製造装置の管理に本願発明に係る管理方法を適用することができる。

【0079】

【発明の効果】本発明に係る前記管理方法によれば、前記したように、データ群が個々のデータ値として単独に

取り扱われることなく、複数のデータからなるデータ群で構成され、データ相互間の相関関係が考慮されるマハラノビス空間に基づいて、前記半導体製造装置の正常動作および異常動作が判定されることから、データ相互間の相関関係を考慮しない従来のインターロック方式では得られない精度の高さで、正確に前記半導体製造装置の動作状態を管理することが可能となる。

【0080】また、本発明に係る前記管理システムによれば、前記したように、前記演算回路が、前記記憶部に格納された前記マハラノビス空間に基づいて、前記検出機構により得られた前記パラメータ値からマハラノビス距離を算出し、前記判定回路が、算出されたマハラノビス距離が所定値を越えたか否かを判定することから、迅速かつ効果的に本願方法を実施することができ、これにより、比較的単純な構成で以って高精度で半導体製造装置の動作状態を管理することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る半導体製造装置の管理システムを概略的に示す構成図である。

【図2】図1に示した管理システムの検出機構により検出されるデータの変化例を示す発光強度のグラフである。

【図3】図1に示した管理システムに用いられるマハラノビス空間を求めるためのデータ群を示す説明図である。

【図4】マハラノビス空間を求めるためのデータ処理方法を示す説明図である。

【図5】本発明に係る半導体製造装置の管理システムの他の例を概略的に示す図1と同様な図面である。

【図6】図5に示した管理システムの検出機構により検出された複数のパラメータについてのデータからなるデータ群を示す説明図である。

【図7】図6に示したデータ群のデータ変化を示すグラフ（その1）である。

【図8】図6に示したデータ群のデータ変化を示すグラフ（その2）である。

【図9】図6に示したデータ群のデータ変化を示すグラフ（その3）である。

【図10】図6に示したデータ群のデータ変化を示すグラフ（その4）である。

【図11】図5に示した管理システムで求められたマハラノビス距離の変化を示すグラフである。

【図12】本発明に係る半導体製造装置の管理システムのさらに他の例を概略的に示す図1と同様な図面である。

【図13】図9に示した管理システムの検出機構により検出された複数のパラメータについてのデータからなるデータ群を示す説明図である。

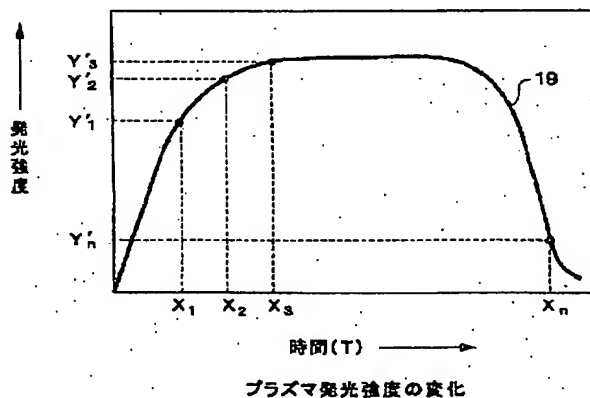
【図14】図13に示した半導体製造装置における従来のEPD波形の一例を示すグラフである。

【図15】図13に示した半導体製造装置の管理システムで求められたマハラノビス距離の変化を示すグラフである。

【符号の説明】

- 10 管理システム
- 11 (プラズマエッチング装置) 半導体製造装置
- 12 半導体基板
- 14a 反応室
- 20 (20a、20b) 検出器
- 22 情報処理装置
- 23 記憶部
- 24 演算回路
- 25 比較回路

【図2】



【図3】

N	Y1	Y2	....	Yn
1	y ₁₋₁	y ₂₋₁	....	y _{n-1}
2	y ₁₋₂	y ₂₋₂	....	y _{n-2}
i	i	i	i	i
m	y _{1-m}	y _{2-m}	....	y _{n-m}

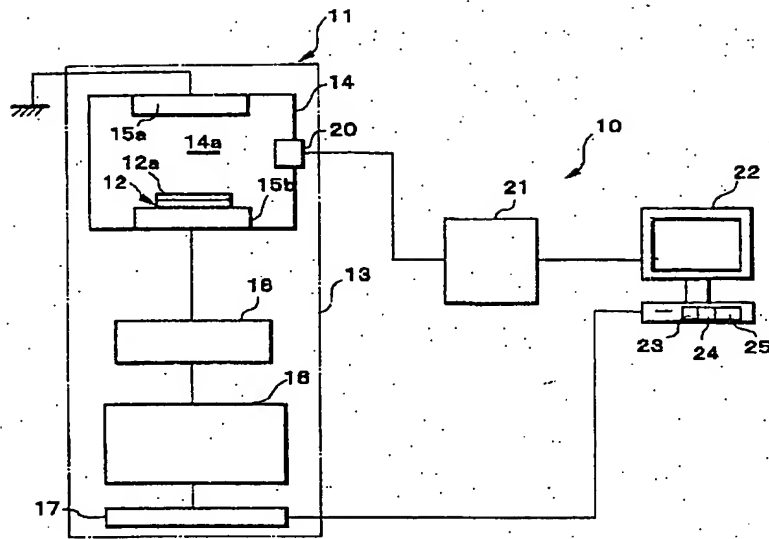
(a) 測定データ群

N	Y1	Y2	....	Yn
1	y ₁₋₁	y ₂₋₁	....	y _{n-1}
2	y ₁₋₂	y ₂₋₂	....	y _{n-2}
i	i	i	i	i
rn	y _{1-m}	y _{2-m}	....	y _{n-m}

(b) 基準化データ群

データの基準化

【図1】



具体例1の管理システム

【図4】

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{1,2} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & 1 & \dots & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

ここで、

$$r_{ij} = r_{ji} = \frac{1}{m} \sum_{p=1}^m y_{i,p} y_{j,p} \quad \dots (2)$$

(a) 相関行列「R」(i, j=1~n)

$$A = R^{-1} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \dots & a_{n,n} \end{bmatrix}$$

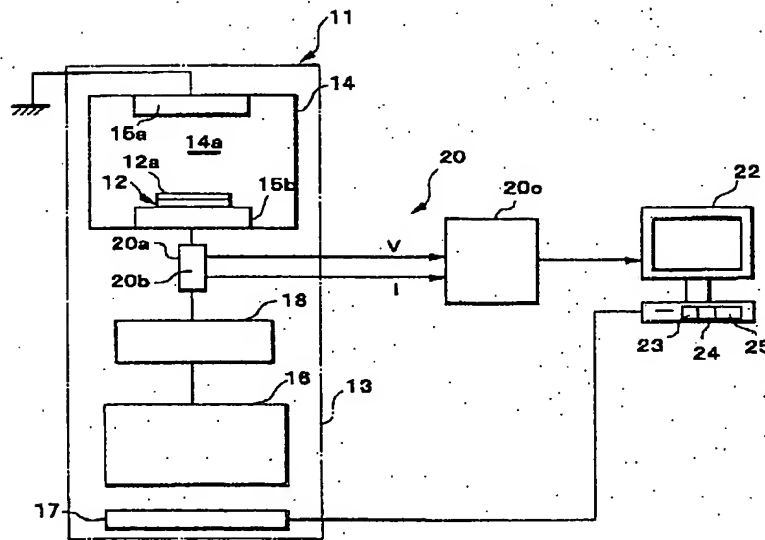
(b) 相関行列「R」の逆行列(i, j=1~n)

$$D^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} y_i y_j \quad \dots (3)$$

(c) マハラノビス(平方)距離 D^2

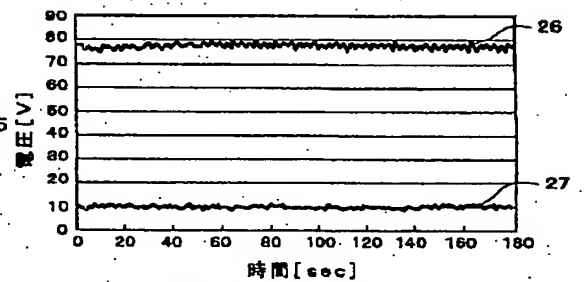
データ処理

【図5】



具体例2の管理システム

【図7】



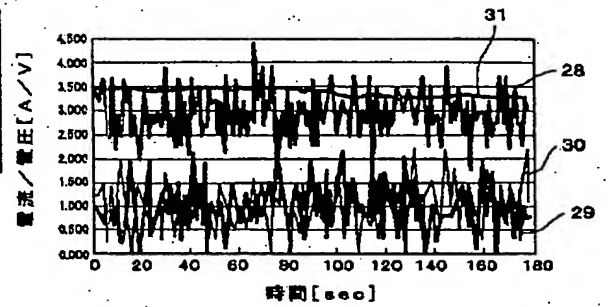
測定データ変化を示すグラフ(その1)

【図6】

	Time. 1	Time. 2	Time. 3	..... n
	IO, .. VO, .. θ	IO, .. VO, .. θ	IO, .. VO, .. θ	..... θ
1	X1, ..., X11	X12, ..., X22	X23, ..., X33	..... Xnn
2	Y1, ..., Y11	Y12, ..., Y22	Y23, ..., Y33	..... Ynn

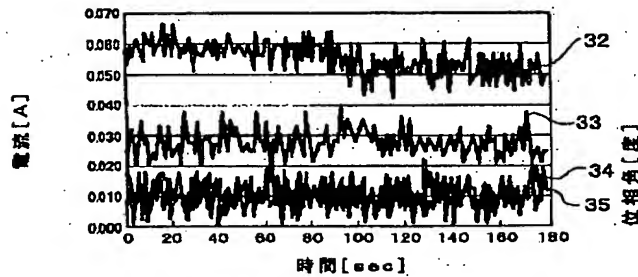
具体例2についての基準化データ

【図8】



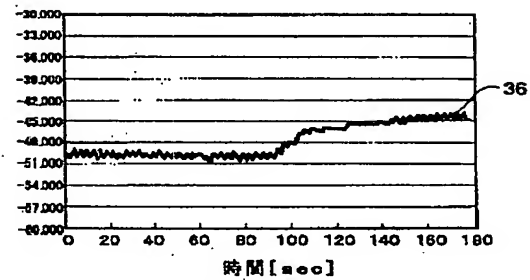
測定データ変化を示すグラフ(その2)

【図9】



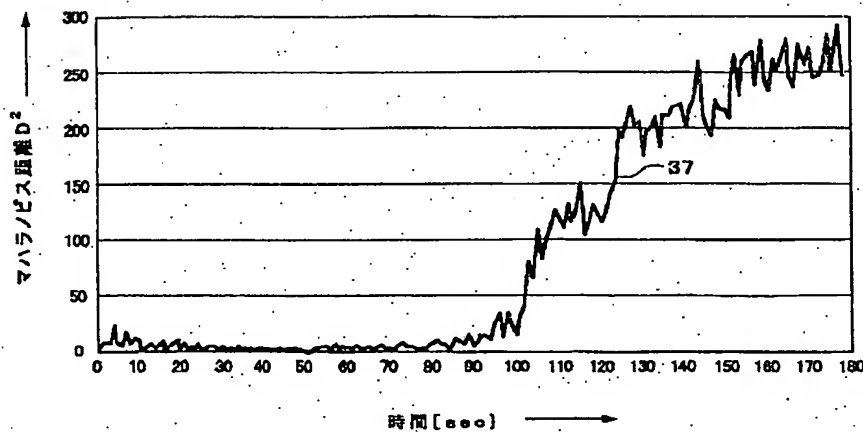
測定データ変化を示すグラフ(その3)

【図10】



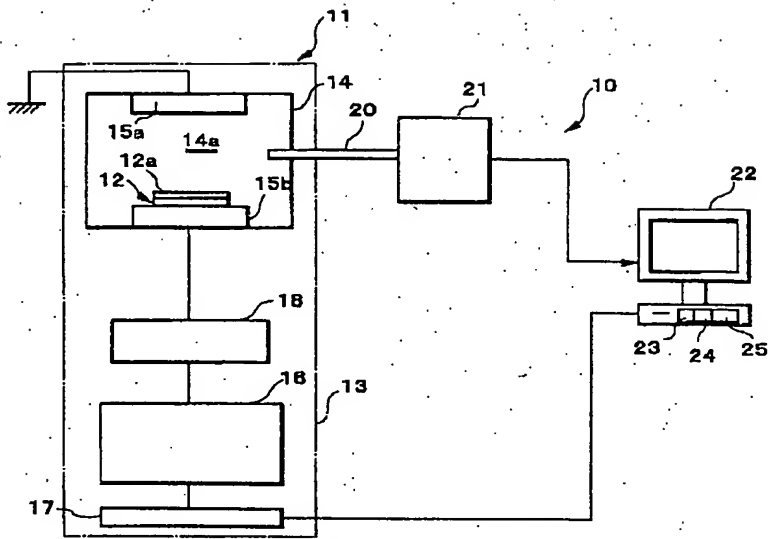
測定データ変化を示すグラフ(その4)

【図11】



具体例のマハラノビス距離の変化を示すグラフ

【図12】



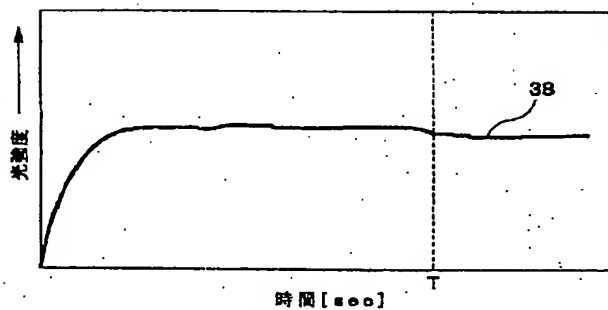
具体例3の管理システム

【図13】

	Time. 1	Time. 2	Time. 3	... Time. n
	$\lambda 1, \dots, \lambda 11$	$\lambda 1, \dots, \lambda 11$	$\lambda 1, \dots, \lambda 11$	$\dots \lambda 11$
1	$X1, \dots, X11$	$X12, \dots, X22$	$X23, \dots, X33$	$\dots Xnn$
2	$Y1, \dots, Y11$	$Y12, \dots, Y22$	$Y23, \dots, Y33$	$\dots Ynn$

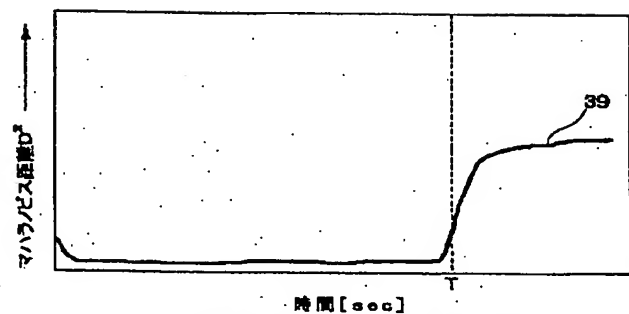
具体例3についての基準化データ

【図14】



プラズマ光強度変化を示すグラフ

【図15】



具体例3のマハラノビス距離の変化を示すグラフ